绿盲蝽对性信息素类似物和植物挥发物的触角电位反应

陈展册[1,2]，苏　丽[1]，戈　峰[2]，苏建伟[2,*]

(1. 广西大学农学院，南宁 530005；2. 中国科学院动物研究所，农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室，北京 100101)

摘要：为了更好地利用性信息素类似物与植物挥发物对绿盲蝽 *Lygus lucorum* 进行监测和生物防治，本研究采用电生理学方法测试了绿盲蝽成虫对 9 种性信息素类似物和 12 种植物挥发性物质的触角电位(electroantennogram, EAG)反应。结果表明：在测试的这 21 种化合物中，绿盲蝽对丁酸酯类化合物和绿叶气味物质的 EAG 反应较强；雄虫对性信息素类似物比雌虫更敏感，而雌虫对植物挥发物更敏感。其中性信息素类似物中，绿盲蝽对反-2-丁酸己烯酯的 EAG 反应最强；植物挥发物中，绿盲蝽对反-2-己烯醛的 EAG 反应最强，雌虫对反-2-己烯醇、反-2-己烯醛、顺-3-己烯醇等绿叶气味物质的 EAG 反应相对高于萜类化合物的反应。剂量反应曲线表明，在测定的浓度范围内，雄虫对反-2-丁酸己烯酯的反应比雌虫显著高，而对 β-蒎烯的反应则比雌虫显著低。绿盲蝽成虫对性信息素类似物和植物挥发物的 EAG 反应存在的两性差异具有生态适应意义：雄虫对性信息素类似物更敏感将更有利于其寻找交配对象，而雌虫对绿叶气味物质更敏感将更有利于其寻找产卵寄主。

关键词：绿盲蝽；性信息素；植物挥发物；触角电位；剂量反应

中图分类号：Q968　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2010)01-0047-08

Electroantennogram responses of the green leaf bug, *Lygus lucorum* Meyer-Dür (Hemiptera: Miridae), to sex pheromone analogs and plant volatiles

CHEN Zhan-Ce[1,2], SU Li[1], GE Feng[2], SU Jian-Wei[2,*] (1. Agricultural College, Guangxi University, Nanning 530005, China; 2. State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: To better employ the alternative method for monitoring and controlling the green leaf bug, *Lygus lucorum*, with sex pheromone analogs and plant volatiles, electroantennogram (EAG) responses of adult *L. lucorum* to nine analogs of sex pheromone and twelve volatiles of plant were tested. The results indicated that EAG responses of *L. lucorum* to butyrates and green leaf volatiles (GLVs) were stronger than that to other compounds examined. Males were more sensitive to analogs of sex pheromone than females, while females more sensitive to plant volatiles. Among nine analogs of sex pheromone tested, (*E*)-2-hexenyl butyrate elicited the strongest EAG response. Among the plant volatiles tested, (*E*)-2-hexenal was the most stimulating. The females were more sensitive to such GLVs as (*E*)-2-hexenol, (*E*)-2-hexenal and (*Z*)-3-hexenol than to terpenoids. Dose response curves of EAG of *L. lucorum* showed that compared with females, males showed significantly stronger EAG responses to (*E*)-2-hexenyl butyrate at all tested concentrations, while significantly weaker EAG responses to β-pinene. Sensitivity differences between both sexes to sex pheromone analogs and plant volatiles suggest ecological adaptation of this species: the males are more sensitive to sex pheromone analogs, which will be helpful for their orientation towards females; whereas the females are more sensitive to plant volatiles, which will be useful for their finding of hosts.

Key words: *Lygus lucorum*; sex pheromone; plant volatiles; electroantennogram (EAG); dose response

昆虫生存环境中存在着大量与昆虫生活密切相关的化学信息，昆虫的交配和繁殖都离不开这些化学信息。昆虫可以通过寄主植物释放的气味物质搜索并选择寄主，循迹异性产生的性外信息素寻找配偶，利用聚集信息素召集同类(赵新成等, 2004)。

触角电位(electroantennogram, EAG) 是一根触

基金项目：盲蝽蟓种内的化学通讯机理及利用技术(200803011-3)

作者简介：陈展册，女，1984 年 5 月生，广西岑溪人，硕士研究生，研究方向为昆虫行为与化学生态，E-mail: chenzhance@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: sujw@ioz.ac.cn

收稿日期 Received: 2009-09-15; 接受日期 Accepted: 2009-12-20

角上所有化感器对刺激物电生理反应的总和，即表示接受化学信息分子刺激的所有感觉细胞产生的电位总和。它具有很高的敏感性和选择性，被广泛地应用于昆虫嗅觉研究中，成为昆虫信息素及其他挥发性信息化合物生物测定非常得力的工具之一（孔祥波等，2001；颜增光等，2006；宁眺等，2006）。通过电生理学方法研究昆虫性信息素及其类似物的化学结构和活性的关系，对了解昆虫的行为及嗅觉机制是十分重要的。

绿盲蝽 *Lygus lucorum* Meyer-Dür，属盲蝽科草盲蝽属，寄主植物有 100 多种，在我国各地均有分布。它以成虫、若虫刺吸危害植物幼嫩组织，受害处出现黑色枯死状小点，后随抽梢展叶变为不规则孔洞，叶片残缺破烂；危害花蕾则引起落花，危害果实形成畸形果和粗皮果；危害桃则引起流胶（孙瑞红等，2004）。近年来，由于转 Bt 基因抗虫棉的大面积推广种植，以棉铃虫为主的鳞翅目害虫得到了有效控制，棉田化学农药使用量大幅度减少，但是非靶标的刺吸式害虫却呈上升趋势，特别是绿盲蝽等盲蝽类害虫的发生数量剧增，为害加重，成为了当前我国转 Bt 基因棉上的主要害虫（Wu *et al*.，2002；郭建英等，2005）。因此，如何有效控制 Bt 基因抗虫棉的绿盲蝽危害是当前转 Bt 基因棉害虫防治的一个重要的科学问题。

目前国内外已对多种昆虫的触角电位进行过研究（Light and Jang，1987；Sant'Ana and Dickens，1998；赵冬香等，2006；向玉勇等，2008）。其中，在盲蝽科里，前人已应用这项技术来研究牧草盲蝽 *Lygus lineolaris*（Chinta *et al*.，1994；Dickens *et al*.，1995）和普绿盲蝽 *Lygocoris pabulinus*（Groot *et al*.，1996）触角的嗅觉感受器对昆虫释放的物质和植物挥发物的响应。而且，人工合成的引诱剂在草盲蝽属等杂食性害虫的防治中起着重要的作用。然而，以往的研究多集中在绿盲蝽的生物学特性，而有关它对植物气味和性信息素组分的电生理反应却未见报道。本研究检测了绿盲蝽成虫对多种性信息素类似物和植物挥发物的电生理反应，旨在为绿盲蝽的监测及利用性信息素类似物与植物挥发物的生物防治提供新的思路与途径。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

绿盲蝽成虫采自河北廊坊绿豆地，室内人工气候箱中（温度 25 ± 1℃，相对湿度 60% ± 10%，L∶D = 16∶8）用四季豆在定制的大玻璃管内进行继代饲养（玻璃管两端开口，内径 10 cm，管长 15 cm，两端用纱布封好），每管 20 头左右饲养。成虫羽化后，雌雄分开饲养。选取 7 日龄（已性成熟）的未交配的雄虫和雌虫进行 EAG 试验。

1.2 测试化合物

根据前人报道的与绿盲蝽同属的盲蝽类性信息素（Chinta *et al*.，1994；Dickens *et al*.，1995；Millar *et al*.，1997；Millar and Rice，1998；吴伟坚等，2004），以及我们前期的一些研究绿盲蝽性信息素的试验，发现丁酸酯类和乙酸酯类是绿盲蝽性信息素的可能组分；而绿盲蝽的寄主广泛，对棉花等寄主植物的挥发物敏感，因此我们挑选了 7 种性信息素的类似物和 14 种植物挥发性物质（Groot *et al*.，1996；苏建伟等，2007）的分析纯样品进行测试，其编号、名称、纯度和来源见表 1。分别将每种化合物溶于液体石蜡（化学纯，天津市福晨化学试剂厂）并配成 0.01（v/v）溶液进行 EAG 测定。剂量反应测试时，选择了有代表性的反-2-丁酸己烯酯和 β-蒎烯这两种化合物，测定浓度分别为 0.1，0.02，0.01，0.004，0.002，0.001 和 0.0001（v/v）7 个梯度，用溶剂作为空白对照。

1.3 触角电位测定

1.3.1 触角电位仪（荷兰 Syntech 公司）装置：触角电位仪主要包括：Syntech IDAC-4 直流/交流放大器，Syntech Combi Probe 10 × 刺激放大器，Syntech MP-15 微动操作仪，Syntech Leica WILD M3Z 双目体显微镜和 Syntech Eag Pro 分析软件。

1.3.2 触角电位测定：取羽化后 7 d 的雌、雄虫，先在 －20℃ 低温下冷冻麻醉，再用眼科手术剪将其 1 根触角自基部剪下，用单面刀片切去触角末端一小节，然后用导电胶（CEFAR BLAGEL ELEKTRODGEL）固定在金属电极上，插入 EAG 探针，覆盖屏蔽锡箔纸，观察显示屏，直到基线平稳，表明触角反应良好，可以开始测定。

在滤纸条上（5 mm × 50 mm）滴加 10 μL 待试样品溶液，立即塞进巴斯德管内，管口两端用锡箔纸封上，以备测试（加样后 1 h 以内）。同法取 10 μL 液体石蜡滴加于滤纸条上作为对照。测试时将巴斯德管一端插入送气管外侧直径为 2 mm 的小孔内，用脚踏板控制刺激。送气管管口与触角纵向垂直，并与触角相距 10 mm 左右。刺激时间 0.1 s，刺激气流为 700 mL/min，两次刺激间隔不少于

1 min，以保证触角感觉器的感觉功能完全恢复。样品的测试顺序为随机排列，但在测试浓度效应时为了减少高浓度强烈刺激引起的嗅觉适应对后续刺激的影响，测试顺序按从低浓度到高浓度进行。由于触角的 EAG 反应会随着测试时间的延长而逐渐降低，为了消除触角生理状态变化带来的影响，以0.01 (v/v)的己醇(溶剂为液体石蜡)作为标准参照刺激对各测试样品的刺激反应进行标准化校正。进行样品刺激前先进行 1 次对照 CK(液体石蜡)和标准参照刺激，然后测试 5 个样品，再进行对照和标准参照刺激，如此循环往复；每个触角约测试 20 个样品；每个待测样品在不同的昆虫触角上至少重复 6 次。

表 1　21 种标准化合物的纯度和来源

Table 1　Purity and source of 21 standard chemical compounds

化合物 Compound	纯度(%) Purity	来源 Source
性信息素类似物 Analogs of sex pheromones		
丁酸乙酯 Ethyl butyrate	99	Alfa Aesar
丁酸丁酯 Butyl formate	98	Acros Organics
丁酸戊酯 Pentyl butyrate	99.2	东京化成工业株式会社 Tokyo Chemical Industry Co., Ltd.
反-2-丁酸己烯酯 (*E*)-2-hexenyl butyrate	>93	东京化成工业株式会社 Tokyo Chemical Industry Co., Ltd.
丁酸己酯 Hexyl butyrate	98	东京化成工业株式会社 Tokyo Chemical Industry Co., Ltd.
丁酸辛酯 Octyl butyrate	97	Alfa Aesar
乙酸庚酯 Heptyl acetate	99	东京化成工业株式会社 Tokyo Chemical Industry Co., Ltd.
乙酸正辛酯 n-octyl acetate	>98	Alfa Aesar
甲酸丁酯 Butyl formate	98	Acros Organics
植物挥发性物质 Plant volatiles		
绿叶气味 Green leaf volatiles		
反-2-己烯醛 (*E*)-2-hexenal	98	Alfa Aesar
反-2-己烯醇 (*E*)-2-hexenol	97	Alfa Aesar
顺-3-己烯醇 (*Z*)-3-hexenol	98.9	东京化成工业株式会社 Tokyo Chemical Industry Co., Ltd.
反-2-乙酸己烯酯 (*E*)-2-hexenyl acetate	98	北京华尔博科技有限责任公司 Beijing Huaer S&T Co., Ltd.
萜类化合物 Terpenoids		
香叶醇 Geraniol	97	Alfa Aesar
β-蒎烯 β-pinene	98	Acros Organics
(±)-柠檬烯(±)-Limonene	90	Alfa Aesar
罗勒烯 Ocimene	90	北京华尔博科技有限责任公司 Beijing Huaer S&T Co., Ltd.
β-石竹烯 β-caryophyllene	96	东京化成工业株式会社 Tokyo Chemical Industry Co., Ltd.
里哪醇乙酸酯 Linalyl acetate	95	Fluka Chemika
2, 6-二甲基-2, 4, 6-辛三烯 2, 6-Dimethyl-2,4,6-octatriene	80	Aldrich
茉莉酸甲酯 Methyl jasmonate	95	Aldrich

1.3.3　触角电位反应值的计算方法：将样品 EAG 测量值减去 CK 的平均值，得到这种样品 EAG 反应的绝对值(absolute EAG)；参照值减去前后所测 CK 的平均值，得到这种样品 EAG 反应的标准值(standard EAG)；将这种样品 EAG 反应的绝对值除以样品 EAG 反应的标准值，得到样品的 EAG 反应相对值(relative EAG value)(王明等，1999)。

1.4　数据统计与分析

供试化合物刺激绿盲蝽所获得的 EAG 反应的相对值采用 Duncan 氏新复极差检验差异显著性，雌雄虫对同一化合物的差异则采用 t 检验($P < 0.05$)。所有统计分析用 SPSS 10.0 完成，绘图在

Excel 软件上进行。

2 结果与分析

2.1 绿盲蝽对性信息素类似物的 EAG 反应

从图 1 可以看出，绿盲蝽雌雄虫触角的最高 EAG 反应均是由反-2-丁酸己烯酯引发的，它们与甲酸丁酯间的差异达显著水平($P<0.05$)，而与其余化合物的 EAG 反应值间的差异不显著。甲酸丁酯与其余化合物的 EAG 反应值无显著差异。雌虫对这些化合物的 EAG 反应值大小依次为：反-2-丁酸己烯酯 > 丁酸戊酯 > 乙酸正辛酯 > 丁酸丁酯 > 丁酸己酯 > 丁酸乙酯 > 乙酸庚酯 > 丁酸辛酯 > 甲酸丁酯；雄虫的 EAG 反应值大小依次为：反-2-丁酸己烯酯 > 乙酸正辛酯 > 丁酸戊酯 > 丁酸丁酯 > 丁酸乙酯 > 丁酸己酯 > 乙酸庚酯 > 丁酸辛酯 > 甲酸丁酯。碳链的长短对绿盲蝽的 EAG 反应有很大影响(图 1)，碳链的延长将导致 EAG 的反应增强。甲酸丁酯所激发的 EAG 反应最低，几乎不能激起反应。丁酸酯类的 EAG 反应比乙酸酯类的高。经独立 t 检验，雌雄虫对同种性信息素类似物的 EAG 反应差异都不显著。

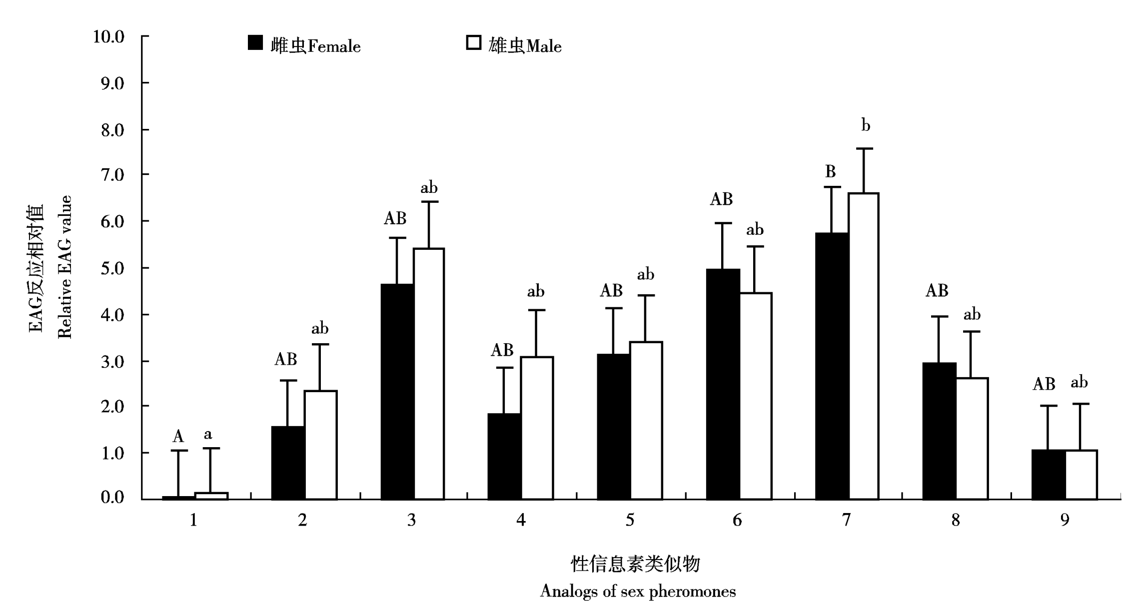


图 1 绿盲蝽对 9 种性信息素类似物的触角电位反应

Fig. 1 EAG responses of *Lygus lucorum* to nine analogs of sex pheromone

1：甲酸丁酯 Butyl formate；2：乙酸庚酯 Heptyl acetate；3：乙酸正辛酯 n-octyl acetate；4：丁酸乙酯 Ethyl butyrate；5：丁酸丁酯 Butyl formate；6：丁酸戊酯 Pentyl butyrate；7：反-2-丁酸己烯酯 (*E*)-2-hexenyl butyrate；8：丁酸己酯 Hexyl butyrate；9：丁酸辛酯 Octyl butyrate. 所有测试的化合物均溶解于液体石蜡中(1%, v/v)；图中数据表示绿盲蝽 EAG 反应值(平均值 ± 标准误)；柱上大写字母和小写字母分别表示绿盲蝽雌虫和雄虫对不同刺激物的触角电位相对值之间的 Duncan 氏新复极差比较，不同的字母表示差异显著($P<0.05$)；图 2 同。All tested compounds were dissolved into paraffin (1%, v/v). The data in the figure are average of antennal response. Bars indicate mean ± *SE*. Capital letters and small letters above bars show Duncan's comparison results of *L. lucorum* females and males to different stimuli, respectively; the different letters mean significant difference ($P<0.05$). The same for Fig. 2.

2.2 绿盲蝽对植物挥发性物质的 EAG 反应

从图 2 可以看出，绿盲蝽对绿叶气味物质的反应相对高于萜类化合物的反应，其中对反-2-己烯醛的 EAG 反应值最高。雌虫对这些化合物的 EAG 反应值大小依次为：反-2-己烯醛 > 顺-3-己烯醇 > 反-2-己烯醇 > 顺-3-乙酸己烯酯 > 罗勒烯 > β-石竹烯 > 2，6-二甲基-2，4，6-辛三烯 > 茉莉酸甲酯 > 柠檬烯 > β-蒎烯 > 里哪醇乙酸酯 > 香叶醇；雄虫的 EAG 反应值大小依次为：反-2-己烯醛 > 顺-3-乙酸己烯酯 > 罗勒烯 > 反-2-己烯醇 > 顺-3-己烯醇 > β-蒎烯 > β-石竹烯 > 里哪醇乙酸酯。雌虫对不同植物挥发性物质 EAG 反应经 Duncan 氏新复极差检验无显著差异，雄虫则有显著差异($P<0.05$)(图 2)。对同种化合物雌虫的反应高于雄虫的反应，但只有罗勒烯、β-石竹烯和顺-3-己烯醇引发的 EAG 反应值，经独立 t 检验，差异显著($P<0.05$)。

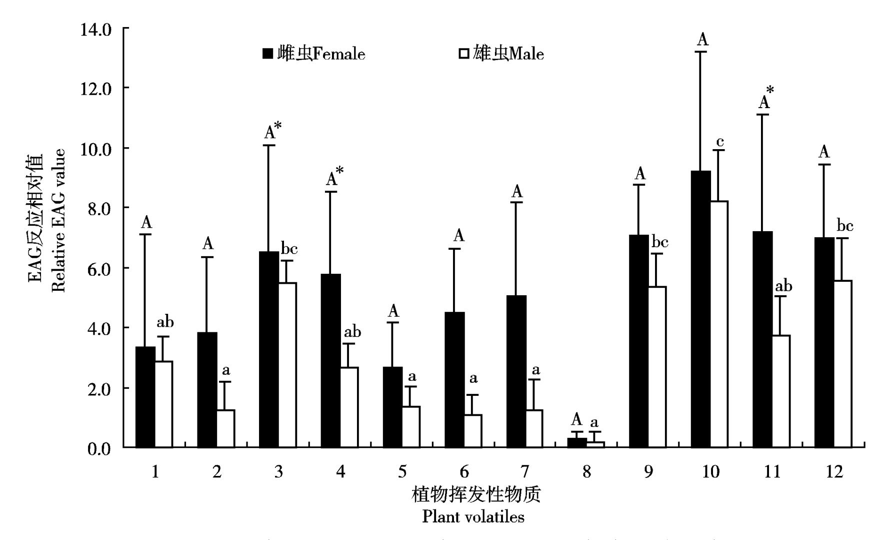


图 2　绿盲蝽对 12 种植物挥发性物质的触角电位反应

Fig. 2　EAG responses of *Lygus lucorum* to 12 plant volatiles

1：β-蒎烯 β-pinene；2：柠檬烯（±）-Limonene；3：罗勒烯 Ocimene；4：β-石竹烯 β-caryophyllene；5：里哪醇乙酸酯 Linalyl acetate；6：茉莉酸甲酯 Methyl jasmonate；7：2，6-二甲基-2，4，6-辛三烯 2，6-Dimethyl-2,4,6-octatriene；8：香叶醇 Geraniol；9：反-2-己烯醇（*E*）-2-hexenol；10：反-2-己烯醛（*E*）-2-hexenal；11：顺-3-己烯醇（*Z*）-3-hexenol；12：顺-3-乙酸己烯酯（*Z*）-3-hexenyl acetate. 所有测试的化合物均溶解于液体石蜡中(1%，v/v)。* 表示雌、雄虫对同一化合物的 EAG 反应达到显著差异水平(*t*-检验，$P<0.05$)。All tested compounds were dissolved into paraffin (1%，v/v). Asterisks above bars indicate significant difference between both sexes (*t*-test，$P<0.05$).

2.3　绿盲蝽对不同浓度的反-2-丁酸己烯酯和 β-蒎烯的 EAG 反应曲线

绿盲蝽成虫对反-2-丁酸己烯酯的 EAG 剂量反应曲线呈“S”型(图 3)。雌虫对各个浓度的反应都很低，在 0.0001 ~0.1 的范围内随浓度的升高而增大。*t*-检验表明，雄虫的反应值明显比雌虫的高($P<0.05$)，在 0.01(v/v)的浓度下反应值最高。在最高测试浓度(0.1 v/v)时诱发的反应未达到饱和。

图 4 表明，绿盲蝽对 β-蒎烯的 EAG 剂量反应曲线大致呈“S”型。雄虫对各个浓度的反应均很低，在 0.002(v/v)的测试浓度下反应值最高。雌虫的 EAG 反应明显比雄虫的高($P<0.05$)，且反应随浓度增大而增强，在浓度为 0. 01 (v/v)时反应最强，达到饱和，超过 0.01 (v/v)时，EAG 反应值趋于平缓，说明此时的浓度已超出雌虫的感受阈值。

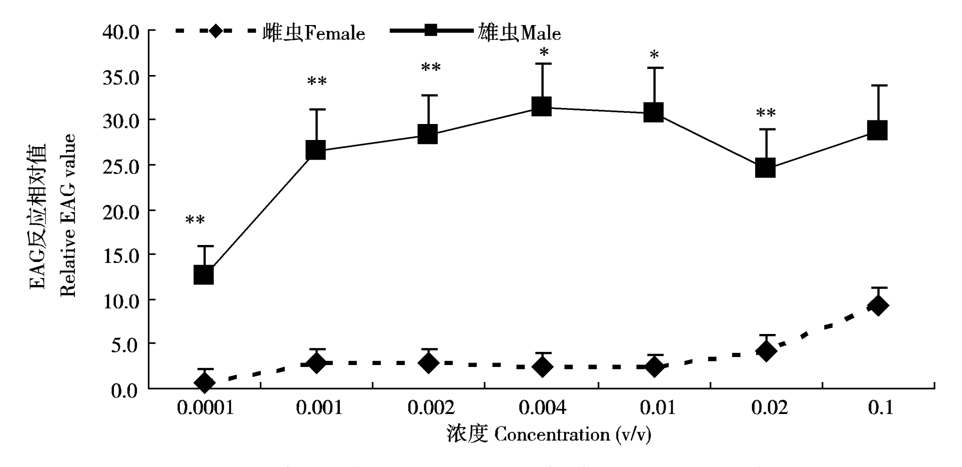


图 3　绿盲蝽雌雄虫对反-2-丁酸己烯酯的 EAG 剂量反应

Fig. 3　EAG dose-response of female and male *Lygus lucorum* to (*E*)-2-hexenyl butyrate

测试的化合物溶解于液体石蜡中(1%，v/v)。* 和 ** 分别表明雌、雄蜂对同一化合物的 EAG 反应差异达到 0.05 和 0.01 的显著水平(*t*-检验)；图 4 同。The tested compounds were dissolved into paraffin (1%，v/v). * and ** indicate that the sexual differences reach significant levels of $P<0.05$ and $P<0.01$，respectively (*t*-test). The same for Fig. 4.

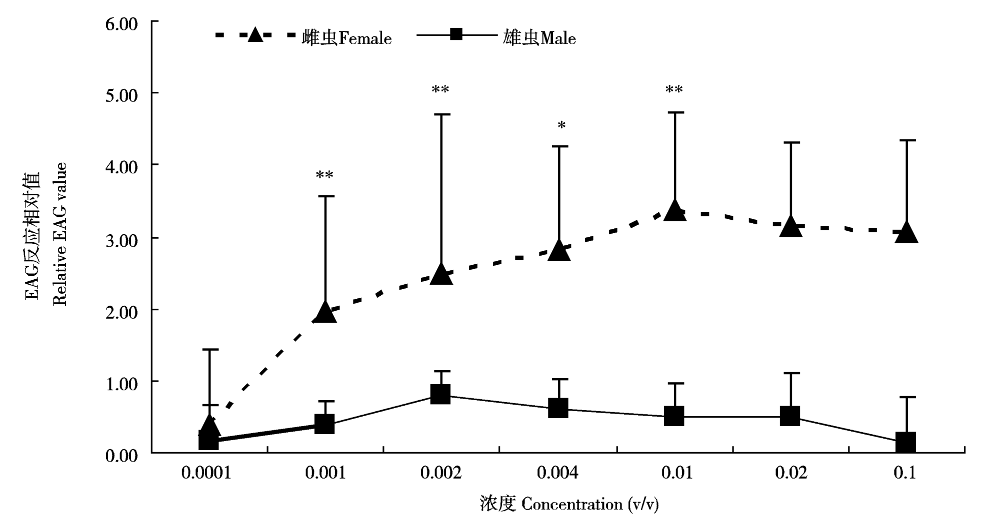


图 4 绿盲蝽雌雄虫对 β-蒎烯的 EAG 剂量反应

Fig. 4 EAG dose-response of female and male *Lygus lucorum* to β-pinene

3 结论和讨论

昆虫主要是靠触角上的嗅感器来感受气味的。有气味的化学刺激物质在嗅感器内转变成电信号，通过触角上的神经传向中枢。具有物种特异性的化学信息物质在昆虫的生境及寄主选择、交配定位和种群分布等过程中起着重要作用。研究化学信息物质对昆虫的 EAG 反应活性有利于筛选生物活性化合物，为害虫的综合治理提供有效的生态防治方法。

3.1 对丁酸酯类化合物的 EAG 反应

本研究发现绿盲蝽雄虫触角对酯类化合物的 EAG 反应比雌虫强。雌雄虫对反-2-丁酸己烯酯的反应都强，雄虫的反应大于雌虫，而对丁酸己酯的反应则比雌虫小。据报道，在美国牧草盲蝽和普绿盲蝽中也发现反-2-丁酸己烯酯是其性信息素的一个主要的组分（Dickens *et al.*，1995；Groot *et al.*，1999）。然而，美国牧草盲蝽雄虫对丁酸己酯和反-2-丁酸己烯酯的反应都大于雌虫（Chinta *et al.*，1994）。这与本试验结果有点差异，是否是因为绿盲蝽雌虫释放的性信息素中含有反-2-丁酸己烯酯，而雄虫释放的物质中含更多的丁酸己酯，这还有待进一步研究论证。前人研究发现，丁酸酯类化合物是盲蝽科昆虫性信息素的主要组分，如丁酸丁酯和反-2-丁酸丁烯酯是显角微刺盲蝽 *Campylomma verbas* 的性信息素主要组分（Smith *et al.*，1991），反-2-丁酸辛烯酯是 *Phytocoris relativus* 的一种性信息素组分（Millar *et al.*，1997）。本试验 EAG 结果也表明丁酸酯类物质在绿盲蝽的生物学中占据很重要的地位。但它的作用是直接的还是间接的，是性引诱的还是种群聚集的，从目前的研究数据还不能断定，EAG 结果只是表明昆虫对这些化合物有反应而不能揭示它们调节行为的功能。

3.2 对绿叶气味物质的 EAG 反应

在植物挥发性次生物质中，有些成分是由 6 碳直链的醇类、醛类和乙酸酯组成（Visser *et al.*，1979），它们是叶内的亚油酸和亚麻酸氧化分解的产物，如顺-3-己烯醇、反-2-己烯醛、反-2-己烯醇等，普遍存在于多种植物的叶子中，因此也称为“绿叶气味”或“普通气味”（严善春等，2003）。挥发性绿叶成分是叶表面脂类化合物的氧化产物，能在不同方面影响植食性昆虫的行为，例如搜寻寄主植物、对信息素的增效或抑制、利于天敌寻找寄主等（杜家纬，2001）。芒果大实蝇 *Dacus dorsalis* 对 15 种植物挥发物质的 EAG 反应，反应最强的前 5 种物质中有 4 种属于绿叶气味（Light and Jang，1987）；美国牧草盲蝽 *Lygus lineolaris* 对 7 组不同结构和性质的化合物的 EAG 反应测试中，绿叶气味的 EAG 反应最强（Chinta *et al.*，1994），雌虫对香叶醇和反-2-己烯醛的反应大于雄虫，而对反-2-己烯醇和顺-3-己烯醇，则不存在性别差异。本实验结果显示，绿盲蝽对反-2-己烯醇、反-2-己烯醛、顺-3-己烯醇和顺-3-乙酸己烯酯等绿叶气味的反应相对高于萜类化合物，对同种化合物雄虫的反应常高于雌虫，雌雄虫对香叶醇的反应都很低。这说明一些绿叶气味物质也是绿盲蝽触角电位的主导化合物组分。但绿盲蝽雌雄虫对香叶醇几乎没有反应，这是否与种间对不

同物质的敏感性存在差异有关，还有待探讨。

3.3 雌雄成虫的剂量反应差异

同种化合物的气味会使昆虫不同性别的反应有所不同(郭线茹等，2003)。由反-2-丁酸己烯酯和β-蒎烯的浓度曲线可见，绿盲蝽雌雄虫对同种化合物在不同浓度的刺激下 EAG 反应差异极显著，可见雌雄成虫触角的嗅觉感受器对来自环境中的气味具有不同的敏感性和选择性，暗示雌、雄成虫触角感受器可能存在类型和数量的差异，或存在嗅觉生理方面的差异。陆宴辉等(2007)用扫描电镜观察发现绿盲蝽的触角感器有 4 种，分别为毛形感器、刺型感器、锥形感器、Böhm 氏鬃毛，各种感器在绿盲蝽雌雄个体上的分布无明显差异。基于本实验的结果，可见绿盲蝽雌雄个体对大部分测试化合物的触角电位反应差异不显著与其感器的分布无显著差异有关；而对反-2-丁酸己烯酯和 β-蒎烯的反应差异显著，可推测雌雄之间触角感器的功能是有差异的，一定程度反映了雌雄个体在寻找寄主、繁殖后代等行为中所起的作用不同，因而对化合物的反应也表现出性别上的差异。赵冬香等(2005)曾报道过椰心叶甲 *Brontispa longissimo* 对 1-已醛的 EAG 反应值雌虫与雄虫间具有显著差异，且雌虫对多达 15 种的挥发性化合物引发的 EAG 反应值大于雄虫，雌性椰心叶甲对植物气味的敏感性要大于雄性，认为与雌虫产卵繁殖后代，要比雄虫更快、更精确地找到寄主植物有关。宁眺等(2006)也曾研究发现松墨天牛雌、雄成虫对 α-蒎烯、β-月桂烯、长叶烯、雪松烯、反式石竹烯、α-古巴烯和丙酮的 EAG 反应活性差异达到极其显著，推测其差异可能影响雌、雄天牛的寄主定位以及定位后交配过程中的主动性。同时，我们还利用 Y 型嗅觉仪进行了嗅觉反应的试验，雌雄成虫对丁酸酯类物质和萜烯类化合物的不同的选择行为也同样印证了以上的结果(另文发表)。

通过测定绿盲蝽对性信息素类似物和植物挥发性物质的 EAG 反应发现雌雄虫的 EAG 反应值存在差异，这种差异反映了一定的生态适应意义：雄虫对性信息素类似物的反应总体比雌虫的强，说明雄虫可以通过感受雌虫释放的性信息素对雌虫进行定位并搜索寻找，以期与雌虫优先交配；雌虫对植物挥发性物质的反应则比雄虫的强，可能与雌虫寻找适宜的产卵寄主有关。美国牧草盲蝽雌雄虫也有同样的反应特性(Chinta *et al.*, 1994)。我们下一步的工作还将开展单细胞记录等试验，进一步了解绿盲蝽各类感器的功能，为更好地开展绿盲蝽的生物防治打下基础。

参 考 文 献 (References)

Chinta S, Dickens JC, Aldrich JR, 1994. Olfactory reception of potential pheromone and plant odors by tarnished plant bug, *Lygus lineolaris* (Hemiptera: Miridae). *J. Chem. Ecol.*, 20(12): 3 251 – 3 267.

Dickens JC, Callahan FE, Wergin WP, Ebbe FE, 1995. Olfaction in a hemimetabolous insect: Antennal-specific protein in adult *Lygus lineolaris* (Heteroptera: Miridae). *J. Insect Physiol.*, 41: 857 – 867.

Du JW, 2001. Plant-insect chemical communication and its behavior control. *Acta Phytophysiologica Sinica*, 27(3): 193 – 200. [杜家纬, 2001. 植物-昆虫间的化学通讯及其行为控制. 植物生理学报, 27(3): 193 – 200]

Groot AT, Schuurman A, Visser JH, Blommers LHM, 1996. Laboratory bioassay of sex pheromone activity in *Lygocoris pabulinus* (L.) (Heteroptera: Miridae). In: Proceedings of the 13th Annual ISCE meeting, August 18 – 22, 1996, Prague. International Society of Chemical Ecology. 189.

Groot AT, Timmer R, Gort G, Lelyveld GP, Drijfhout FP, van Beek TA, Hans Visser J, 1999. Sex-related perception of insect and plant volatiles in *Lygocoris pabulinus*. *J. Chem. Ecol.*, 25(10): 2 357 – 2 371.

Guo JY, Zhou HX, Wan FH, Liu XJ, Han ZJ, 2005. Population dynamics and damage of *Lygus lucorum* in Bt cotton fields under two control measures. *Chinese Bulletin of Entomology*, 42(4): 424 – 428. [郭建英, 周洪旭, 万方浩, 刘小京, 韩召军, 2005. 两种防治措施下转 Bt 基因棉田绿盲蝽的发生与为害. 昆虫知识, 42(4): 424 – 428]

Guo XR, Yuan GH, Jiang JW, Ma JS, 2003. Electroantennogram responses of insects to volatile secondary compounds from plants. *Journal of Henan Agricultural University*, 37(1): 18 – 22. [郭线茹, 原国辉, 蒋金炜, 马继盛, 2003. 植物挥发性次生物质对昆虫触角电位反应的影响. 河南农业大学学报, 37 (1): 18 – 22]

Kong XB, Wang R, Gao W, Zhao CH, 2001. Technique and applications of coupling gas chromatography with electroantennographic detector. *Entomological Knowledge*, 38(4): 304 – 309. [孔祥波, 王睿, 高伟, 赵成华, 2001. 气相色谱与触角电位检测器联用技术及其应用. 昆虫知识, 38(4): 304 – 309]

Light DM, Jang EB, 1987. Electroantennogram responses of the oriental fruit fly, *Dacus dorsalis*, to a spectrum of alcohol and aldehyde plant volatiles. *J. Ent. Exp. Appl.*, 45: 55 – 64.

Lu YH, Tong YJ, Wu KM, 2007. Antennal sensilla of the green plant bug, *Lygus lucorum* Meyer-Dür (Heteroptera: Miridae) observed with scanning electron microscopy. *Acta Entomol. Sin.*, 50(8): 863 – 867. [陆宴辉, 仝亚娟, 吴孔明, 2007. 绿盲蝽触角感器的扫描电镜观察. 昆虫学报, 50(8): 863 – 867]

Millar JG, Rice RE, 1998. Sex pheromone of the plant bug *Phytocoris californicus* (Heteroptera: Miridae). *J. Econ. Entomol.*, 91(1):

132－137.

Millar JG, Rice RE, Wang Q, 1997. Sex pheromone of the mirid bug *Phytocoris relativus* (Heteroptera: Miridae). *J. Chem. Ecol.*, 23(7): 1 743－1 754.

Ning T, Fan JT, Fang YL, Sun JH, 2006. Changes in contents of host volatile terpenes under diferent damaged states and electroantennogram response of *Monochamus alternatus* Hope to these volatiles. *Acta Entomol. Sin.*, 49(2): 179－188. [宁眺, 樊建庭, 方宇凌, 孙江华, 2006. 不同危害状态下寄主萜烯挥发物含量的变化及松墨天牛对其组分的触角电位反应. 昆虫学报, 49(2): 179－188]

Sant'Ana J, Dickens JC, 1998. Comparative electrophysiological studies of olfaction in predaceous bugs, *Podisus maculiventris* and *P. nigrispinus*. *J. Chem. Ecol.*, 24: 965－983.

Smith RF, Pierce HD, Borden JH, 1991. Sex pheromone of the mullein bug, *Campylomma verbasci* (Meyer) (Heteroptera: Miridae). *J. Chem. Ecol.*, 17: 1 437－1 447.

Su JW, Gao F, Liu L, Ge F, 2007. Components and emitting rate of the volatiles released from the transgenic cotton damaged by cotton bollworm. *Plant Protection*, 33(1): 29－33. [苏建伟, 高峰, 刘玲, 戈峰, 2007. 棉铃虫危害对转基因棉花挥发物成分和释放速率的影响. 植物保护, 33(1): 29－33]

Sun RH, Li AH, Liu XF, 2004. The outbreak and integrate control of mirids in the fruit trees. *Deciduous Fruits*, 36(6): 27－29. [孙瑞红, 李爱华, 刘秀芳, 2004. 盲蝽在果树上猖獗危害的原因及综合防治. 落叶果树, 36(6): 27－29]

Visser JH, Van Straten S, Maarsem H, 1979. Isolation and identification of volatiles in the foliage of potato, *Solanum tuberosum*, a host plant of the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*. *J. Chem. Ecol.*, 5(1): 13－25.

Wang M, Wu DM, Yan YH, Wu CH, Dilana AS, Zheng CR, 1999. The electrophysiological studies on the sex pheromone of the cotton bollworm in Xinjiang. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 18(4): 311－316. [王明, 伍德明, 阎云花, 吴才宏, 迪拉娜·艾山, 郑成锐, 1999. 新疆棉铃虫性信息素的电生理研究. 华中农业大学学报, 18(4): 311－316]

Wu KM, Li WD, Feng HQ, Guo YY, 2002. Seasonal abundance of the mirids, *Lygus lucorum* and *Adelphocoris* spp. (Hemiptera: Miridae) on Bt cotton in northern China. *Journal of Crop Protection*, 21: 997－1 002.

Wu WJ, Gao ZZ, Liang GW, 2004. Sex pheromones for mirid bugs. *Entomological Knowledge*, 41(4): 299－301. [吴伟坚, 高泽正, 梁广文, 2004. 盲蝽科昆虫性信息素研究概况. 昆虫知识, 41(4): 299－301]

Xiang YY, Yang MF, Cui W, Lou YG, Tang Yi, Li ZZ, 2008. EAG response of the male black cutworm moth, *Agrotis ypsilon* (Rottemberg) (Lepidoptera: Noctuidae) to the female's sex pheromone. *Acta Entomol. Sin.*, 51(1): 91－95. [向玉勇, 杨茂发, 崔巍, 娄永根, 唐毅, 李子忠, 2008. 小地老虎雄蛾对雌蛾性信息素的 EAG 反应. 昆虫学报, 51(1): 91－95]

Yan SC, Zhang DD, Chi DF, 2003. Advances of studies on the effects of plant volatiles on insect behavior. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 14(2): 310－313. [严善春, 张丹丹, 迟德富, 2003. 植物挥发性物质对昆虫作用的研究进展. 应用生态学报, 14(2): 310－313]

Yan ZG, Yan YH, Kang L, Wang CZ, 2006. EAG responses of *Campoletis chlorideae* Uchida to plant volatiles and host pheromone gland compounds. *Acta Entomol. Sin.*, 49(1): 1－9. [颜增光, 阎云花, 康乐, 王琛柱, 2006. 棉铃虫齿唇姬蜂对植物挥发物和寄主性信息素腺体化合物的 EAG 反应. 昆虫学报, 49(1): 1－9]

Zhao DX, Lu FP, Mo SS, Wang AP, 2006. Effect of several plant volatiles on antenna electrophysiological activity of *Brontispa longissima* (Gestro). *Chinese Journal of Tropical Crops*, 27(3): 66－69. [赵冬香, 卢芙萍, 莫圣书, 王爱萍, 2006. 几种植物挥发物对椰心叶甲成虫的触角电位的生理活性. 热带作物学报, 27(3): 66－69]

Zhao XC, Yan YH, Wang R, Wang CZ, 2004. Techniques used in insect neurobiology research: Electroantennogram recording. *Entomological Knowledge*, 41(3): 270－274. [赵新成, 阎云花, 王睿, 王琛柱, 2004. 昆虫神经生物学研究技术: 触角电位图记录. 昆虫知识, 41(3): 270－274]

（责任编辑：袁德成）